



# **ESTUDIO DE REOLOGIA EN SALSAS ELABORADAS CON HARINAS EXTRUSIONADAS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Curso: 2014/15**

**Alumno: Montserrat Prieto Reguilón  
Tutor: Manuel Gómez Pallarés**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos**  
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)  
Universidad de Valladolid

## Contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Materiales .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Métodos .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 Caracterización de las harinas .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Preparación de las salsas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3 Caracterización de las salsas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4 Tratamiento estadístico de datos.....</b>	<b>11</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Caracterización de las harinas. ....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1 Humedad, Amilosa- amilopectina y proteína.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.2 Comportamiento viscoso de las harinas .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.3 Propiedades de hidratación del gel y capacidad de absorción de                 aceite .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Caracterización de las salsas .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1 Microscopia óptica.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.2 Comportamiento reológico.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.3 Propiedades de extrusión .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.4 Sinéresis en fresco y tras la congelación.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.5 Color .....</b>	<b>25</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>26</b>

# ESTUDIO DE REOLOGÍA EN SALSAS ELABORADAS CON HARINAS EXTRUSIONADAS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS

---

## RESUMEN

Las harinas extrusionadas, debido a la capacidad que tienen para absorber agua y espesar en frío, suponen una alternativa económica a nivel industrial para la elaboración de salsas tipo bechamel en frío. En este estudio se ha evaluado la incorporación de harinas extrusionadas de trigo y arroz de diferentes granulometrías en la elaboración de salsas en frío con el fin de analizar el efecto que tiene el tamaño de partícula y el tipo de harina en las características de las salsas. Así, se ha evaluado la microscopía, reología, propiedades de extrusión, sinéresis y color de las salsas. Mínimas diferencias han sido apreciadas entre las salsas de trigo y arroz a nivel de microestructura. Las salsas preparadas con harina de trigo presentan mayor grado de tixotropía y desestructuración con el tiempo y a su vez mayor viscosidad en comparación a las de arroz. A su vez, los valores de  $G'$  y  $G''$  también fueron superiores para las salsas de trigo. Además las salsas elaboradas con trigo son las que mayor resistencia a la extrusión manifiestan. En fresco todas las salsas mostraron ausencia de sinéresis, sin embargo, tras la congelación la presencia de sinéresis era notable en ambos tipos de salsa, siendo mayor para las salsas elaboradas con harina de trigo. Las salsas de arroz presentaron mayor luminosidad que las de trigo, debido al color de las harinas de partida.

**Palabras clave:** *salsa blanca, harina extrusionada, granulometría, microscopía, reología, sinéresis.*

## ABSTRACT

Extruded flours, with great both water absorption and thickening capacity in cold water, represent an economical alternative to the food industry so as to obtain white sauces with no need of heating. In this research, rice and wheat extruded flours of different particle sizes were used to prepare cold white sauces in order to analyze the effect of the particle size and type of flour on the characteristics of the sauces. Microscopy, rheological properties, extrusion properties, syneresis and color of the sauces were assessed. No differences were found between wheat and rice sauces at microstructure level. Wheat sauces exhibited thixotropic behavior and breakdown with time, and higher viscosity in comparison to rice sauces. The values of  $G'$  and  $G''$  were also higher for wheat sauces. Furthermore, wheat sauces showed the highest extrusion resistance. No syneresis was observed in any of the freshly prepared sauces. However, after freezing syneresis phenomena was noticeable in both types of sauce, being higher for sauces made from wheat flour. Sauces made with rice displayed more lightness than wheat sauces, because of the color of initial flours.

**Keywords:** *white sauce, extruded flour, particle size, microscopy, rheology, syneresis.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los hábitos de los consumidores han cambiado y existe una gran demanda de platos preparados, entre los que se encuentran las salsas listas para consumir. Estas son una parte importante de la dieta del hombre, y además son productos con un gran valor añadido (Quiles et al., 2012). Las salsas son aquellos preparados alimenticios que se obtienen como resultado de la mezcla de distintos ingredientes y que son sometidos a un tratamiento culinario (Real Decreto 858/1984). Las salsas tipo bechamel (*White sauce*) son ampliamente utilizadas en la cocina occidental bien como acompañante o como ingrediente para la elaboración de platos.

Las salsas, al igual que otros alimentos procesados se crean como resultado de las interacciones de proteínas, polisacáridos y lípidos en medios acuosos (Rao, 2007). Para su preparación se requiere leche, aceite, harina o almidón y sal. El principal ingrediente de este tipo de salsas es la harina ya que tiene un papel fundamental en la textura del producto final (Arocas et al., 2009c). A su vez, el almidón presente en la harina, es el responsable de dar viscosidad a la salsa después de un proceso de cocción (Arocas et al., 2010a). Por otra parte, el agua también es un componente a destacar por el papel que juega en la creación de estructuras comestibles y su estabilidad de almacenamiento (Rao, 2007).

La utilización del almidón como texturizante y espesante en diversos productos en ocasiones es complicada debido a la pérdida de viscosidad que experimenta durante el calentamiento o cizallamiento y la tendencia a retrogradar durante la refrigeración y congelación (Arocas et al., 2009a). A su vez, todos estos fenómenos están asociados con la composición del almidón, la temperatura de cocinado, la cantidad de agua presente en el alimento, el origen del almidón y la presencia de otros ingredientes (Jacobson et al., 1997). Para subsanar la tendencia a la retrogradación del almidón y sus consecuencias en la calidad del producto final se han desarrollado almidones con modificaciones físicas y químicas que mejoran la estabilidad de los productos en los que se emplean (Chiu & Solarek, 2009; Martínez et al., 2014). La gran demanda por parte de los consumidores de productos naturales hace que los tratamientos térmicos resulten muy atractivos para modificar las propiedades funcionales de los cereales sin que exista una modificación química, y de ese modo obtener una etiqueta limpia o “label-friendly”, más aceptable por los consumidores (Hagenimana et al., 2006; Jacobs & Delcour, 1998).

La extrusión es un tratamiento físico en el cual un producto a base de almidón es sometido a una alta temperatura y esfuerzo mecánico con contenidos de humedad

relativamente bajos durante un corto tiempo (Camire et al., 1990). Este tratamiento provoca cambios en el almidón más bruscos que los métodos de cocción tradicionales, dañando una mayor cantidad de gránulos de almidón y modificando el poder espesante en frío de los almidones (Wolf, 2010). El alcance de estos cambios depende de parámetros de extrusión tales como; la temperatura, la humedad al inicio del tratamiento y la velocidad del tornillo (Wen et al., 1990). Una mayor temperatura y contenido en humedad y una baja velocidad del tornillo producen un aumento de la temperatura de gelatinización y de la capacidad de hidratación, mientras que el pico de viscosidad y la retrogradación disminuyen (Martínez et al., 2014). De este modo, los tratamientos hidrotérmicos, como la extrusión, pueden generar almidones pregelatinizados (precocidos), que presentan un mayor hinchamiento de los gránulos, adquiriendo una mayor capacidad de absorber agua y espesar en frío (Chiu & Solarek, 2009; Doublier et al., 1986). Por todo ello el empleo de harinas extrusionadas para la elaboración de salsas resulta muy interesante ya que el principal problema de las salsas es la desestabilización tras el preparado y/o durante el almacenado (Hernández-Carrión et al., 2015). Esto se debe a que las harinas nativas empleadas en la elaboración de salsas son sometidas a altas temperaturas, lo que conlleva una retrogradación del almidón durante el enfriamiento posterior, empeorando la calidad del producto (Arocas et al., 2009c). El tratamiento de extrusión además de provocar la gelatinización del almidón, provoca la desnaturalización de las proteínas (Camire et al., 1990) y genera asociaciones moleculares del tipo amilosa-lípido, y todo ello tiene como consecuencia la modificación de las propiedades reológicas de las pastas de harina (Hagenimana et al., 2006), aunque las características del almidón suelen ser las que determinan en mayor medida las propiedades reológicas. Además, como ocurre con cualquier tratamiento térmico, con la extrusión se lleva a cabo la reducción enzimática y de la carga microbiana del producto tratado (Camire et al., 1990). Debido a todas estas propiedades funcionales la harina extrusionada podría ser un ingrediente importante a tener en cuenta para la elaboración de salsas como agente espesante y gelificante (Mason, 2009). Estas harinas serán de especial interés en la elaboración de mixes para elaborar cremas en frío, por su alto poder espesante en esas condiciones, a diferencia de las harinas no tratadas.

A la hora de elaborar salsas es importante conocer las propiedades reológicas de las mismas ya que están relacionadas con las propiedades organolépticas percibidas por parte del consumidor (Abu-Jdayil, 2003). Las propiedades reológicas se basan en las respuestas de flujo y deformación de los alimentos cuando son sometidos a tensiones normales y tangenciales. El estudio a fondo de la reología del fluido de alimentos

requiere el conocimiento de las tensiones y los principios básicos de flujo del fluido (Rao, 2007). A su vez, la caracterización de las propiedades reológicas dependientes del tiempo en los alimentos son fundamentales para relacionar la estructura y la fluidez del alimento semisólido con la evaluación sensorial ya que en definitiva el interés final de cualquier producto es la aceptación por parte del consumidor (Abu-Jdayil, 2003). La congelación de las salsas se asocia a una aparición de sinéresis y cambios en la textura y, consecuentemente, a una reducción de la aceptabilidad por parte del consumidor (Arocas et al., 2009c), por ello la estabilidad a lo largo del tiempo en las salsas tipo bechamel ha sido un parámetro muy estudiado por diferentes investigadores.

Arocas et al. (2009a) estudiaron el empleo de almidones nativos de diferentes fuentes botánicas en la elaboración de salsas blancas y evaluaron su comportamiento en ciclos de congelación-descongelación. En estos estudios encontraron que el tipo de almidón afectaba a la sinéresis y viscoelasticidad de las salsas tras ciclos de congelación-descongelación. También observaron que tras el calentamiento de la salsa después de la congelación se eliminó la sinéresis casi por completo y se redujeron los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) lo que indicó una recuperación parcial de la estructura de la salsa recién elaborada. En otro estudio realizado por Arocas et al. (2010b) se llevaron a cabo estudios con salsas elaboradas con diferentes tipos de almidones y suplementadas con hidrocoloides como goma xantana y goma garrofín para evaluar su estabilidad tras ciclos de congelación-descongelación. Con la adición de hidrocoloides, en fresco se vieron aumentadas la  $G'$  y  $G''$  siendo la magnitud del incremento dependiente de la fuente de almidón utilizada, sin embargo tras la congelación los valores de ambos módulos se redujeron dando lugar a un sistema menos estructurado. Probablemente debido a la interacción del hidrocoloide con la amilosa solubilizada, reduciendo las interacciones amilosa-amilosa y por lo tanto el grado de retrogradación.

A pesar de que la medición de las propiedades reológicas se realiza a nivel macroscópico, estas se encuentran directamente afectadas por los cambios y las propiedades que se producen a nivel microscópico (Hernández-Carrión et al., 2015). Quiles et al. (2012) evaluaron junto con las propiedades reológicas y la estabilidad, la microestructura de salsas blancas preparadas con diferentes almidones de maíz y enriquecidas con proteína aislada de soja. En dicho estudio encontraron que a nivel de microestructura la viscosidad se asocia con el número y la interacción de los gránulos de almidón y el tamaño de los gránulos de grasa.

El tamaño de partícula de las harinas empleadas en la elaboración de alimentos influye en el resultado final. Este hecho ha sido y está siendo estudiado en la elaboración de

panes y bizcochos (Blanchard et al., 2012; de la Hera et al., 2013b; Martínez et al., 2013), sin embargo no se han realizado estudios de la influencia del tamaño de partícula en salsas. Se ha comprobado que dependiendo del tamaño de partícula de las harinas varía el contenido en proteína y almidón, lo que a su vez influirá en las propiedades de hidratación, en la hidrólisis enzimática del almidón y en definitiva, en el resultado final del producto a elaborar (de la Hera et al., 2013a).

Varios trabajos han sido publicados estudiando el comportamiento reológico y la estabilidad de almidones nativos, modificados y waxy de diferentes familias botánicas en salsas tipo bechamel (Arocas et al., 2009a; 2009c; Quiles et al., 2012) pero ninguno lo ha hecho tomando como ingrediente principal la harina. La harina de trigo es la más utilizada en España y resulta más económica que las de arroz o maíz (MAGRAMA, 2015); sin embargo apenas hay estudios sobre el empleo de estas harinas en la elaboración de salsas. Por otro lado, el arroz es el tercer cereal más cultivado mundialmente después del trigo y el maíz (FAOSTAT, 2015) y su utilización en forma de harina está en continuo aumento. El incremento de la presencia de la harina de arroz en la industria alimentaria se debe a que cada vez son más las personas intolerantes al gluten o incluso aquellas que consideran que una dieta exenta de gluten es más sana y esto genera que la demanda de productos sin gluten este en aumento. Al tratarse de un cereal exento de gluten, incoloro, sabor suave e hipoalergénico (Torbica et al., 2012) hace interesante el empleo de la harina de arroz para la preparación de distintos alimentos destinados a la población celiaca. A pesar de que la harina de arroz es incapaz de formar una red de gluten consistente para retener el gas producido durante la fermentación (Gujral & Rosell, 2004), lo cual es importante para productos de panadería y bollería, en la elaboración de salsas no resulta relevante.

Por ello, el objeto del presente estudio ha sido la elaboración de salsas blancas en frío incorporando harinas extrusionadas como ingrediente principal. Las salsas se elaboraron empleando una proporción 1:30 aceite-agua y harinas de arroz y trigo extrusionadas de distintas granulometrías. Con el fin de caracterizar cada una de las granulometrías de las harinas empleadas se midió el ratio amilosa/amilopectina, el contenido en proteína, las propiedades de hidratación y la capacidad de absorción de aceite de cada fracción. En las salsas se llevaron a cabo ensayos de comportamiento al flujo y de cinéticas de ruptura que junto con las propiedades viscoelásticas sirvieron para evaluar las propiedades reológicas de las salsas. Además a las salsas obtenidas también se les evaluaron las propiedades de extrusión y se les midió la sinéresis en fresco y tras la congelación y el color.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

Las harinas empleadas en el estudio fueron harina de arroz y trigo extrusionadas suministradas por Molendum Ingredients (Zamora, España). Por su parte, a la harina de arroz extrusionada (10,19% de humedad y parámetros de color  $L^*=91,185$ ,  $a^*=0,685$  y  $b^*=10$ ) se le adicionó un 25% de humedad, y la temperatura alcanzada durante el proceso de extrusión fue de 140°C. Mientras que la harina de trigo (10,04% de humedad y parámetros de color  $L^*=88,325$ ,  $a^*=1,5$  y  $b^*=11,2$ ) se extruyó a una temperatura máxima de 160°C y un contenido de humedad adicional del 10%. Ambas harinas fueron extruidas empleando un extrusor de tornillo simple industrial modelo Bühler Basf (Bühler S.A., Uzwil, Suiza). El ratio longitud-diámetro (L/D) del extrusor fue de 20:1, la velocidad de tornillo fue de 340 rpm y el producto extruido se secó por convección de aire y se molturó con rodillos de compresión hasta un tamaño de partícula inferior a 200  $\mu\text{m}$ .

Otros ingredientes utilizados en la preparación de las salsas fueron aceite de girasol refinado Abrilsol (Aceites ABRIL S.L., Ourense, España) y agua procedente de la red local.

Cada una de las harinas fue tamizada y separada en tres fracciones de la siguiente granulometría: fina <80  $\mu\text{m}$ , intermedia 80-130  $\mu\text{m}$  y gruesa >130 $\mu\text{m}$  de acuerdo a la cantidad de partículas retenida en cada tamiz. El tamizado se llevó a cabo con un Tamizador Automático Bühler modelo MLI300B (Braunschweig, Alemania). Cada una de las harinas fue tamizada durante un tiempo de 15 minutos para recoger posteriormente cada una de las fracciones y guardarlas por separado.

### 2.2 Métodos

#### 2.1.1 Caracterización de las harinas

Previamente a la elaboración de las salsas se llevó a cabo una caracterización de las harinas.

- **Humedad**

La humedad de las harinas fue medida con una termobalanza Sartorius MA 150 (Sartorius Weighing Technology GmbH, Goettingen, Alemania) siguiendo el método 44-16.01 (AACC, 2012). Se realizaron 2 mediciones para cada una de las fracciones de las harinas.



- **Evaluación del contenido de amilosa-amilopectina.**

Para la evaluación del almidón en las muestras de harina se empleó el kit K-amyl 09/14 *Megazyme* para amilosa-amilopectina (*Megazyme International Ireland Ltd., Co., Wicklow, Irlanda*). La absorbancia se leyó a 510 nm con un espectrofotómetro modelo *Spectronic 20 Genesys™* (*Spectronic Instruments, Reino Unido*). La evaluación se determinó como porcentaje en base seca del peso de harina. Se realizaron 2 réplicas para cada muestra de harina.

- **Proteína**

El contenido en proteínas de las distintas harinas fue analizado siguiendo el método 46-30.01 (AACC, 2012). Se realizaron 2 réplicas para cada una de las fracciones de la harina.

- **Comportamiento viscoso de las harinas**

Para el estudio del comportamiento viscoso de las harinas se llevó a cabo un ciclo de calentamiento-enfriamiento empleando un equipo de RVA (*Rapid Visco Analyzer*) (*Newport Scientific Pty Ltd, Warriewood, Australia*). La medición se llevó a cabo siguiendo el método 61-02.01 (AACC, 2012). En dicho método una mezcla de 3,5 gr de harina en 25 gr de agua destilada se somete a un calentamiento desde 50°C hasta 95°C, a esta temperatura se mantiene un cierto tiempo para enfriar posteriormente hasta los 50°C. Los resultados de viscosidad fueron registrados al finalizar el ensayo para cada una de las granulometrías empleadas. Se llevaron a cabo 2 repeticiones para cada una de las granulometrías.

- **Propiedades de hidratación del gel**

El índice de absorción de agua (*Water Absorption Index, WAI*), el poder de hinchamiento o *Swelling Power (SP)* y el índice de solubilidad en agua (*Water Solubility Index, WSI*) de las diferentes harinas se determinó siguiendo el método de Toyokawa et al. (1989), con las modificaciones llevadas a cabo por Rosell et al. (2011). En primer lugar, la harina ( $50 \pm 1$  mg) se dispersó en 1,0 ml de agua destilada en un tubo Eppendorf con una varilla metálica y se calentó a 90°C durante 10 min en un baño de agua. La pasta cocida se enfrió en un baño de agua con hielo durante 10 min y después se centrifugó a  $3000 \times g$  a 4°C durante 10 min. El sobrenadante se decantó en un plato de evaporación y el residuo del tubo eppendorf se pesó ( $W_r$ ). El peso de sólidos secos se recuperó por evaporación del sobrenadante a 105°C ( $W_s$ ). Se realizaron 3 réplicas para cada granulometría de las harinas. WAI, SP y WSI se calcularon del siguiente modo:

$$WAI \text{ (g/g)} = W_r/W_i$$

$$WSI \text{ (g/100 g)} = W_s/W_i \times 100$$

$$SP \text{ (g/g)} = W_r / (W_i - W_s)$$

Donde  $W_i$  es el peso de la muestra en base seca (g, db).

Los resultados se corrigieron con la humedad de las harinas medidas según el método 44-16,01 (AACC, 2012).

- **Capacidad de absorción de aceite**

Para la determinación de la capacidad de absorción de aceite (*Oil Absorption Capacity*, OAC), se llevó a cabo el método de Lin et al. (1974). La muestra de harina ( $100 \pm 0,2$  mg) se dispersó en 1 ml de aceite vegetal con una varilla de alambre. Posteriormente se procedió a mezclarlo en el vortex durante 30 minutos, después se centrifugó a  $3000 \times g$  y a  $4^\circ\text{C}$  durante 10 minutos. El sobrenadante se retiró cuidadosamente y se invirtieron los tubos durante 25 minutos y se pesó el residuo ( $W_r$ ). Se realizaron 2 réplicas para cada una de las fracciones de las harinas. La OAC se calculó del siguiente modo:

$$OAC \text{ (g/g)} = W_r / W_i$$

Siendo  $W_i$  el peso de la muestra (g, db)

## 2.2.2 Preparación de las salsas

Las salsas se elaboraron empleando una proporción aceite-agua de 1:30. Las salsas fueron preparadas empleando harina (16,78%), aceite (2,68%) y agua hasta el 100%. Para la elaboración se empleó una Thermomix (TM 21, Wuppertal, Alemania), los ingredientes se echaron en la jarra de la Thermomix y se mezclaron durante 9 minutos a 650 rpm, en los últimos 2 minutos se subió la temperatura hasta  $40^\circ\text{C}$  manteniendo la misma velocidad. Las salsas se transfirieron a un recipiente de cristal sellado y se mantuvieron a  $20^\circ\text{C}$  hasta su posterior análisis. Se elaboraron dos salsas con cada una de las fracciones de las harinas.

## 2.2.3 Caracterización de las salsas

### 2.2.3.1 Microscopia óptica

Las muestras de salsa se examinaron utilizando un microscopio DM750 (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania) a 20x aumentos, equipado con una cámara EC3, y las imágenes fueron capturadas utilizando el software LAS EZ (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania). Previamente a la observación se tomó una pequeña cantidad de muestra de la salsa y se depositó en un portaobjetos, posteriormente se colocó el cubreobjetos y se mantuvo comprimida durante un tiempo de 45 minutos para posteriormente observarlas al microscopio. Las microfotografías de las salsas fueron

tomadas el mismo día de la elaboración y tras 24 horas de congelación en puntos al azar de cada muestra.

### 2.2.3.2 Comportamiento reológico

El comportamiento reológico de las salsas se determinó empleando un reómetro de esfuerzo controlado Thermo Scientific Haake RheoStress1 (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controla la temperatura de análisis, fijada a 30°C para todos los análisis realizados. Todas las pruebas fueron monitorizadas con el software RheoWin 4 Job Manager y los parámetros reológicos fueron calculados utilizando el software RheoWin 4 Data Manager (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania). El tiempo de reposo para permitir la estabilización de la estructura antes de iniciar los ensayos se estableció en 600 segundos y un gap de 1 mm para todos los análisis. Los distintos ensayos reológicos fueron realizados por duplicado en cada muestra el mismo día de la preparación de la salsa.

- **Cinéticas de ruptura**

La sonda empleada en este ensayo al igual que para el de tixotropía fue una sonda de cilindros concéntricos modelo Z34 DIN Ti. El análisis se realizó en modo CR (*Control Rate*) a una velocidad de deformación constante de 1 s<sup>-1</sup> durante un tiempo de 300 segundos. Las propiedades de flujo en función del tiempo de medición de muestras se trataron según el siguiente modelo de estructura cinética:

$$\left[ \frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} \right]^{1-n} = (n - 1)kt + 1$$

Donde  $\eta_0$  es la viscosidad aparente inicial a  $t=0$  (estado estructurado) y  $\eta_{\infty}$  es la viscosidad aparente en el estado estacionario a  $t \rightarrow \infty$  (estado sin estructura),  $n$  es el orden de la reacción de descomposición de la estructura, estimado como reacción de segundo orden ( $n=2$ ) (Abu-Jdayil, 2003; Razavi & Karazhiyan, 2009) y  $k$  es considerada como una medida del ratio de ruptura de la estructura. Este modelo únicamente es válido cuando la velocidad de deformación es constante, lo cual se cumple en este ensayo (Razavi & Karazhiyan, 2009).

- **Comportamiento al flujo y tixotropía**

La medición de la tixotropía se llevó a cabo en modo CR (*Control Rate*) empleando una sonda de cilindros concéntricos modelo Z34 DIN Ti. Inicialmente, la velocidad de deformación se incrementó linealmente desde 1 a 100 s<sup>-1</sup> en 200 s, después se mantuvo a 100 s<sup>-1</sup> durante 150 s, y finalmente se disminuyó de nuevo hasta 1 s<sup>-1</sup> en 100 s. Posteriormente se determinó el lóbulo de histéresis (%) como el área comprendida entre la curva de subida y de bajada.

Para describir el comportamiento de flujo fue realizado un ajuste de los datos experimentales con el modelo de Herschel-Bulkley:

$$\tau = \tau_o + k\dot{\gamma}^n$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo de cizalladura (Pa),  $\dot{\gamma}$  es el gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ ),  $k$  es el índice de consistencia ( $Pa\ s^n$ ) y  $n$  el índice de comportamiento (adimensional) (Razavi & Karazhiyan, 2009).

- **Comportamiento viscoelástico**

Las propiedades viscoelásticas de las salsas se determinaron usando un sistema de platos paralelos serrados de 60 mm de diámetro (PP60 Ti) empleando una separación de 1 mm de distancia entre los platos, una vez ajustado el espacio entre ellos se cubrió con aceite de vaselina Panreac (Panreac Química SA, Castellar del Vallés, España) para prevenir la pérdida de humedad. En un primer lugar se realizó un barrido de esfuerzos de 0,01 a 100 Pa a una frecuencia de 1 Hz para determinar la región viscoelástica lineal de cada una de las muestras. Posteriormente, se llevó a cabo un barrido de frecuencias de 10 a 0,1 Hz utilizando un valor de esfuerzo cortante comprendido en la región viscoelástica lineal establecido previamente con el barrido de esfuerzos. En este ensayo se obtuvieron las curvas del módulo de almacenamiento o elástico ( $G'$ ) y el módulo de pérdida o viscoso ( $G''$ ).

El módulo  $G'$  representa la energía almacenada en el material que es recuperable por ciclo de deformación. Mientras que  $G''$  mide la energía que se pierde a causa de la componente viscosa. También se obtuvo el factor de pérdidas ( $\tan \delta = G''/G'$ ), el cual relaciona los dos módulos anteriormente mencionados (Arocas et al., 2009a)

### **2.2.3.3 Propiedades de extrusión**

Las propiedades de extrusión fueron evaluadas con un TA- XT2 Texture Analyser equipado con una plataforma de extrusión (Stable Micro-Systems, Godalming, Reino Unido). Se empleó una sonda cilíndrica de 40 mm con una apertura de 10 mm. La tasa de compresión fue de 10 mm/s, y la fuerza de disparo (*trigger*) de 10 g. De los perfiles de tiempo registrados se obtuvieron el área bajo la curva y la fuerza máxima alcanzada para cada una de las salsas. Las mediciones de extrusión fueron realizadas por duplicado en las salsas el mismo día de su elaboración y a una temperatura de 20°C. Este método ha sido adaptado del que emplearon Arocas et al. (2009c).

### **2.2.3.4 Sinéresis en fresco y tras la congelación**

La sinéresis fue evaluada en fresco el mismo día de preparación de la salsa y tras 24 horas de congelación siguiendo el método de Heyman et al. (2010) con algunas modificaciones. En ambos casos se tomaron dos muestras de 15 gramos en tubos

Falcon de 50 ml de capacidad, se centrifugaron a 4000 x g durante 15 minutos. Posteriormente el líquido decantado se separó y se pesó. El cálculo se realizó del siguiente modo:

$$\%sinéresis = (\text{peso líquido decantado} / \text{peso muestra antes de centrifugar}) \times 100$$

Para llevar a cabo la medición tras la congelación, las muestras se descongelaron progresivamente a temperatura ambiente durante 2 horas y posteriormente se siguió el mismo procedimiento anteriormente explicado. La evaluación de la sinéresis en fresco y tras la congelación se realizó por duplicado para cada una de las salsas.

### **2.2.3.5 Color**

El color de las salsas se midió el mismo día de elaboración, para ello se empleó un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Antes de realizar las mediciones se procedió a calibrar con un blanco ( $L^* = 98,92$ ,  $a^* = -0,11$  y  $b^* = -0,30$ ). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar  $D_{65}$  y observador estándar  $2^\circ$  y se expresaron en el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$ . La medición se llevó a cabo mediante 5 disparos en dos sitios obtenidos al azar de cada una de las salsas. En el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , el parámetro  $L^*$  con magnitud acotada entre 0-100 corresponde con la luminosidad, mientras que  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas cromáticas acotadas entre -60, +60; donde  $+a^*$  es la coordenada para el color rojo,  $-a^*$  la verde,  $+b^*$  la amarilla y  $-b^*$  es la del azul.

### **2.2.4 Tratamiento estadístico de datos**

Los datos obtenidos han sido analizados empleando un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) mediante el test LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). Antes de realizar el ANOVA de los datos se ha verificado la normalidad de los mismos mediante el test de bondad de ajuste específico de la normalidad Shapiro-Wilks. Además se han realizado correlaciones de Pearson entre todas las variables estudiadas a través de un análisis multivariado para observar la existencia de posibles relaciones lineales entre ellas. Todos los análisis se han llevado a cabo usando el software Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, EEUU).

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Caracterización de las harinas.**

#### **3.1.1 Humedad, Amilosa- amilopectina y proteína.**

Los resultados de humedad, del contenido en amilosa y proteína de las harinas estudiadas se encuentran resumidos en la tabla 1.

Los valores de humedad son significativamente distintos atendiendo al tipo de harina y granulometría. Por un lado, las harinas de trigo presentan por lo general una mayor humedad que las harinas de arroz para las granulometrías estudiadas. Además, la humedad es menor cuanto menor es el tamaño de partícula de la harina, lo cual puede estar relacionado con la mayor relación superficie volumen de las partículas pequeñas que dan lugar a mayores pérdidas de humedad a través de su superficie.

**Tabla 1:** Valores de humedad, amilosa y proteína de las harinas empleadas

	<b>Humedad (g/100g)</b>	<b>Amilosa (g/100g)</b>	<b>Proteína (g/100g)</b>
<b>Trigo fina</b>	9,50 a	28,11 d	21,04 f
<b>Trigo intermedia</b>	10,09 d	24,30 c	7,00 a
<b>Trigo gruesa</b>	9,83 c	27,63 d	8,84 d
<b>Arroz fina</b>	9,53 a	20,55 ab	9,33 e
<b>Arroz intermedia</b>	9,80 c	17,86 a	7,54 c
<b>Arroz gruesa</b>	9,62 b	22,50 bc	7,40 b

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

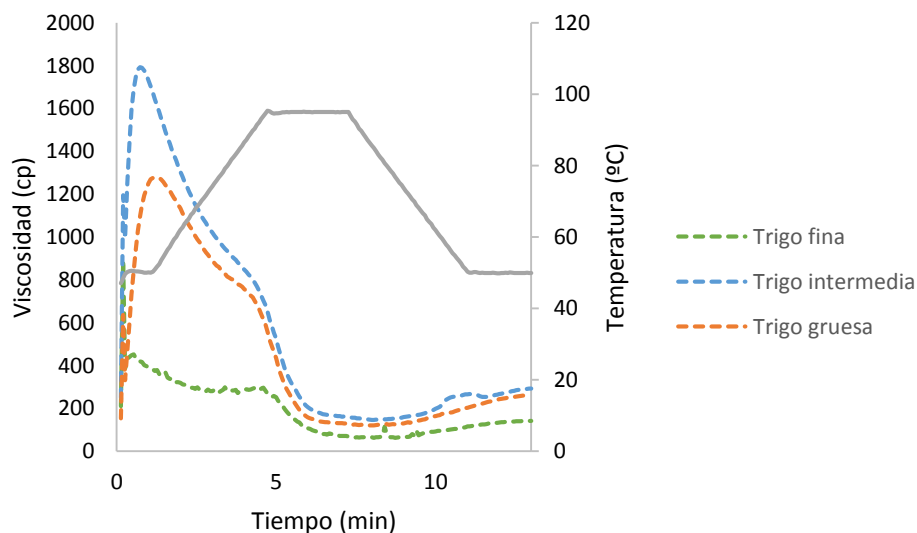
El contenido en amilosa y proteína de cada una de las fracciones se evaluó para encontrar una posible tendencia entre granulometría y cereal. El contenido en amilosa es mayor para la harina de trigo que para la de arroz, esto se corresponde con las tendencias habituales, ya que el almidón que tienen las harinas de trigo es más rico en amilosa que el almidón de la harina de arroz (Arocas et al, 2009a). La granulometría fina de trigo es la que mayor porcentaje de amilosa presenta, a pesar de que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con la cantidad de amilosa que tiene la porción gruesa de trigo. Respecto al arroz, la granulometría gruesa es la que mayor contenido en amilosa tiene seguida por la fina y la intermedia.

Por otro lado, el contenido en proteína es significativamente diferente atendiendo al tipo de harina y granulometría. Sin embargo, cabe destacar el elevado contenido en proteína que tiene la fracción fina de harina de trigo, mucho mayor que el resto de fracciones de trigo y arroz. A su vez, la granulometría fina de arroz es la que mayor contenido en proteína tiene por delante de la intermedia y la gruesa. Generalmente las harinas de trigo contienen el doble de proteína que las de arroz, este hecho se debe a que la concentración de proteínas es mayor en las capas superficiales del grano de arroz y disminuye hacia el centro, por lo que un porcentaje elevado de las proteínas se quedan constituyendo parte del salvado (Champagne et al., 2006). En otros estudios en los que se evaluaba el contenido en proteína de la harina de arroz, los resultados obtenidos eran contrarios a estos, donde se obtuvo un incremento de proteína al aumentar la

granulometría de la harina (de la Hera et al., 2013a). La diferente tendencia puede radicar en el tratamiento previo de extrusión al que fueron sometidas las harinas de este estudio. Tras el tratamiento de extrusión, las harinas son remolturadas, pudiéndose ver alterada la distribución de sus componentes en función del tamaño de partícula, aumentando así la cantidad de proteína en las fracciones más finas.

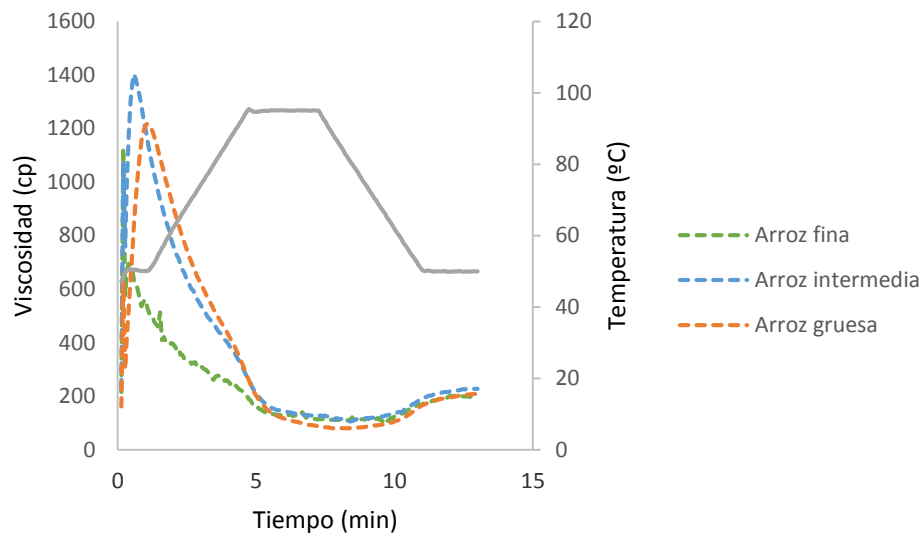
### 3.1.2 Comportamiento viscoso de las harinas

El comportamiento viscoso de las harinas se encuentra reflejado en las figuras 1a y 1b. Como se puede apreciar en las gráficas, cuando las harinas son suspendidas en agua a una temperatura de 50°C incrementan inmediatamente su viscosidad. Los valores máximos de viscosidad en todas las granulometrías se encuentran en el rango de temperaturas entre 50 y 60°C. Las harinas extrusionadas a diferencia de las harinas nativas sin tratamientos previos tienen la capacidad de espesar al entrar en contacto con el agua y prácticamente en frío, debido a que los gránulos de almidón se encuentran en un estado de pregelatinización, y tienen la capacidad de absorber agua y aumentar la viscosidad en frío (Wolf, 2010).



**Figura 1a:** Perfiles de viscosidad-temperatura para las 3 granulometrías de trigo

Tanto para las harinas de trigo como las de arroz la granulometría intermedia es la que mayor viscosidad en frío adquiere seguida de la gruesa y la fina. En las gráficas se puede apreciar que la harina de arroz alcanza menor pico de viscosidad que la de trigo.



*Figura 1b: Perfiles de viscosidad-temperatura para las 3 granulometrías de arroz*

Al comenzar el ciclo calentamiento-enfriamiento tiene lugar un descenso rápido de la viscosidad durante el periodo en el que se somete a calor, una vez que la temperatura desciende la viscosidad tiende a aumentar pero levemente, sin apenas observarse retrogradación. Esto está de acuerdo con los resultados previos obtenidos por Doublier et al. (1986) que correlacionaban la reducción observada en la viscosidad final y la retrogradación con la fragmentación que proporcionaba la extrusión en las cadenas de amilosa, ocasionando la pérdida de la capacidad de retrogradar durante el enfriamiento. Mientras que Hagenimana et al. (2006) y Sharma et al. (2013) atribuyen este efecto a los intensos tratamientos de extrusión a los que son sometidas las harinas que dan lugar a la extrema gelatinización de los gránulos de almidón y como consecuencia de esto, promueven la disminución de la viscosidad durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento.

### 3.1.3 Propiedades de hidratación del gel y capacidad de absorción de aceite

Los resultados obtenidos de propiedades de hidratación y capacidad de absorción de aceite de las harinas se encuentran recogidos en la tabla 2.

La capacidad de absorción de agua durante el tratamiento térmico, que implica la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, se evaluó mediante la determinación del índice de absorción de agua (*Water Absorption Index*, WAI), el índice de solubilidad en agua (*Water Solubility Index*, WSI) y el poder de hinchamiento (*Swelling Power*, SP). El WSI y SP apenas se ven afectados por el tamaño de partícula, con la excepción del SP para la fracción más pequeña de trigo que mostró menor SP



siendo la única muestra significativamente distinta encontrada. Mientras que para el WAI se observa que las fracciones finas de arroz y trigo presentan significativamente los menores valores de absorción con respecto al resto de granulometrías. Estos resultados del índice de absorción de agua se ven reflejados en las bajas viscosidades obtenidas en las curvas de viscosidad para las fracciones finas de trigo y arroz. La reducción en la capacidad de retención de agua que acompaña a la reducción en el tamaño de partícula podría ser a consecuencia de la ruptura de las estructuras celulares por molienda, lo que lleva al colapso de la matriz de la pared (Anguita et al., 2009).

Por otro lado, Arocas et al. (2010b) concluyeron que la presencia de ciertos componentes puede reducir el grado de hinchamiento y la degradación de gránulos almidón. De este modo, el elevado contenido en proteína que tiene la porción fina de trigo podría suponer un efecto protector previniendo la desintegración de algunos de los gránulos de almidón y de este modo causando un límite en la absorción de agua por el almidón.

**Tabla 2:** Valores de propiedades de hidratación y capacidad de absorción de aceite para las harinas empleadas

	WAI (g/g)	WSI (g/100g)	SP (g/g)	OAC (g/g)
<b>Trigo fina</b>	6,69 a	28,03 a	9,35 a	2,00 a
<b>Trigo intermedia</b>	8,50 bc	32,25 a	12,57 b	1,94 a
<b>Trigo gruesa</b>	8,41 bc	35,43 a	13,07 b	2,05 a
<b>Arroz fina</b>	7,96 b	37,10 a	12,68 b	2,05 a
<b>Arroz intermedia</b>	9,18 c	28,11 a	12,84 b	2,07 a
<b>Arroz gruesa</b>	8,99 c	34,21 a	13,87 b	1,86 a

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

La capacidad de absorción de aceite (*Oil Absorption Capacity*, OAC) se determinó para medir la capacidad de la proteína de la harina de unirse físicamente a la grasa por atracción capilar. Los valores para la OAC están comprendidos entre 1,86 g/g y 2,07 g/g sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cereales y granulometrías. Esto parece indicar que la capacidad de absorción de aceite no se ve afectada por el tipo de cereal ni su granulometría.

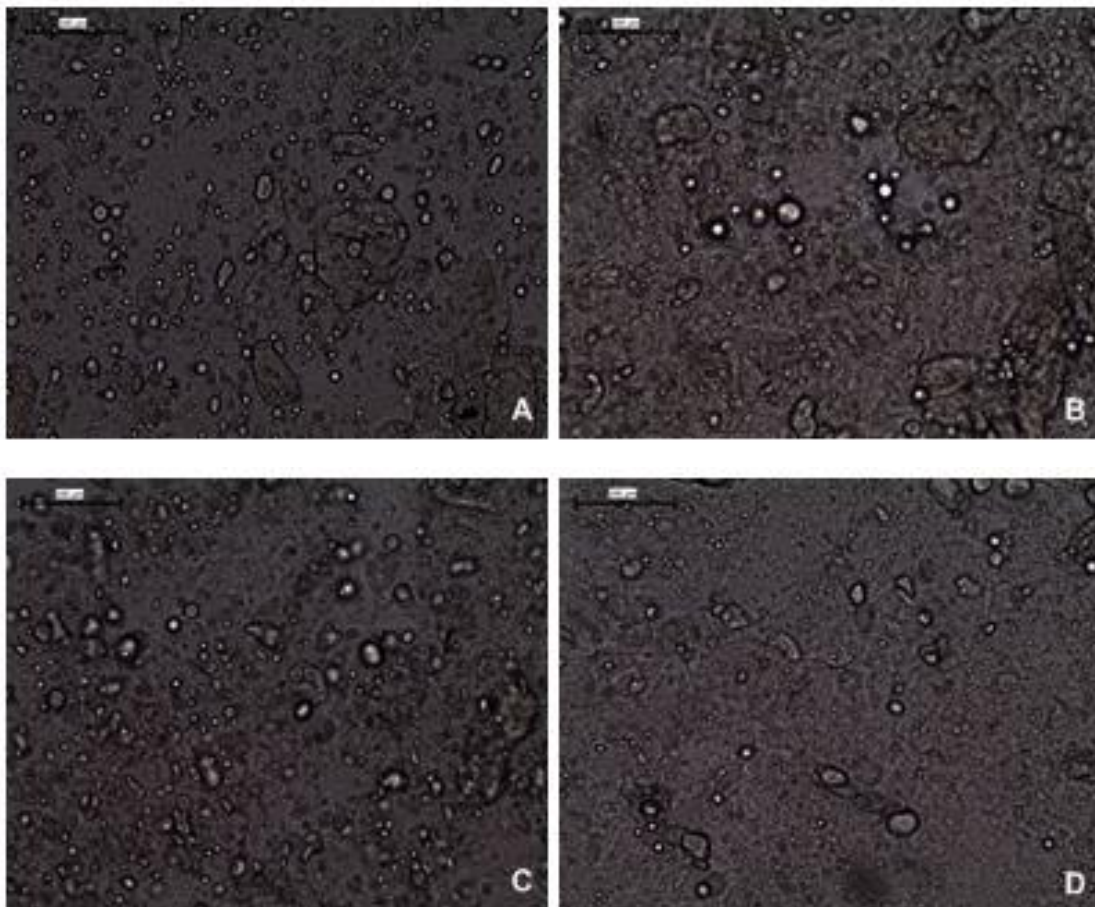
## 3.2 Caracterización de las salsas

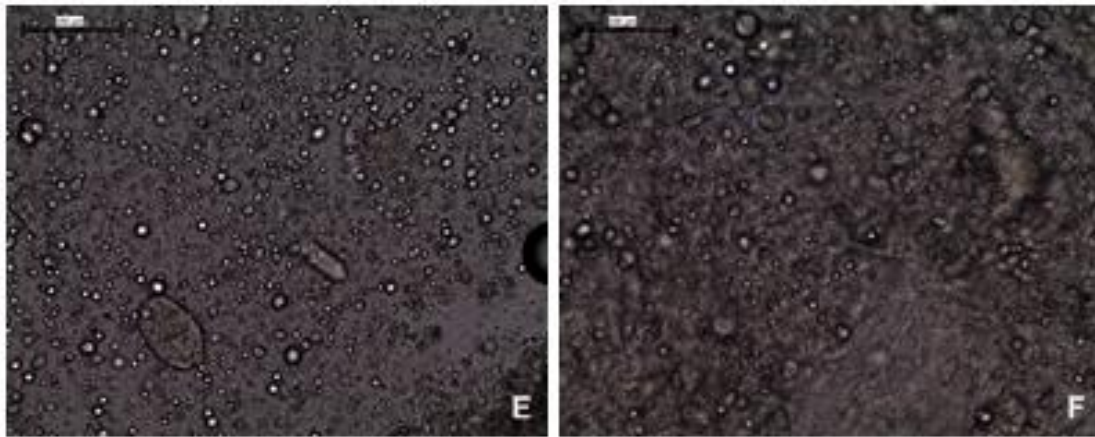
### 3.2.1 Microscopia óptica

La microscopía óptica se empleó para proporcionar información acerca de la microestructura de las salsas estudiadas (Figura 2 y 3). En ambas figuras se puede observar que las salsas constan de una fase continua o matriz densa, que se

corresponde con proteínas y amilosa liberada de los gránulos de almidón gelatinizados. En la matriz deberían apreciarse interacciones entre las proteínas y el almidón que componen la harina, pero apenas se hace notar a esta resolución. Además se puede apreciar que en la fase continua se encuentran atrapados glóbulos de grasa y gránulos de almidón que no han sido desintegrados y son los que constituyen la fase dispersa. Una distribución similar fue descrita por Hernández-Carrión et al. (2015) y Quiles et al. (2012) en sus estudios de microscopia en salsas blancas tipo bechamel elaboradas con almidones pregelatinizados y químicamente modificados.

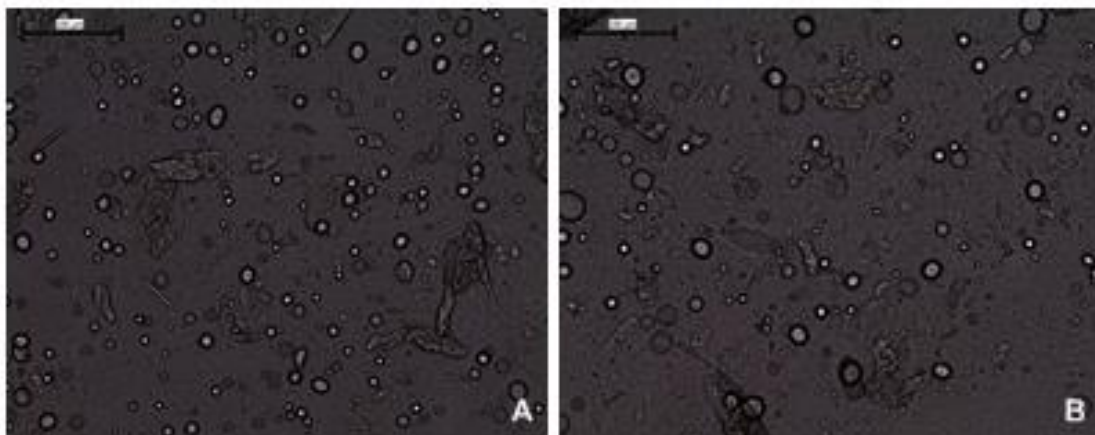
Si comparamos las salsas en fresco con las congeladas, en las salsas congeladas se aprecia una matriz mucho más densa y desorganizada que las salsas frescas, posiblemente causado por las reorganizaciones de las cadenas de amilosa que se atribuye a la retrogradación que tiene lugar tras la congelación (Quiles et al., 2012). Pero al margen de esta salvedad, apenas se pueden apreciar grandes cambios entre un estado y otro.

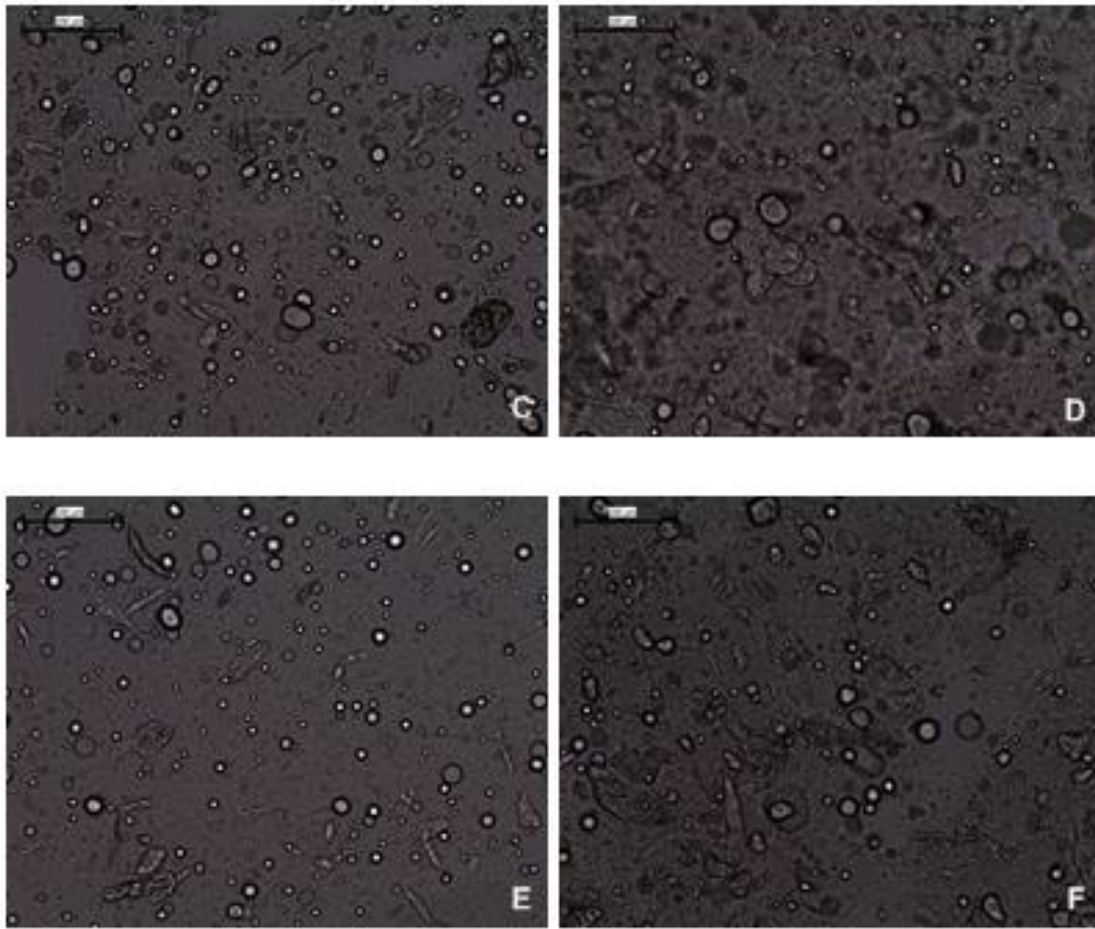




**Figura 2:** Salsa elaborada con harina de trigo. (A) Trigo fina en fresco, (B) Trigo fina tras congelación, (C) Trigo intermedia en fresco, (D) Trigo intermedia tras congelación, (E) Trigo gruesa en fresco, (F) Trigo gruesa tras congelación. La barra que aparece en la parte superior izquierda de cada fotografía indica un tamaño de 100  $\mu\text{m}$ .

Al realizar una comparativa entre las salsas elaboradas con harina de arroz y las de trigo se puede ver como las salsas de harina de arroz tienen una fase continua más homogénea y menos consistente que las salsas de trigo. Hernández-Carrión et al. (2015) comprobaron con microscopía confocal de barrido láser que al añadir mayores concentraciones de almidón a la salsa, se obtenía una fase continua más densa que en las salsas con concentraciones más bajas de almidón. Esto podría extrapolarse a las diferencias encontradas en la fase continua de las salsas de arroz y trigo, ya que estas últimas tienen un mayor contenido en amilosa y proteína y por lo tanto una matriz mucho más densa que a su vez se manifiesta en una mayor viscosidad. A su vez, en la matriz de las salsas de trigo se pueden apreciar agregados que podrían dar lugar a una mayor viscosidad y apariencia densa a nivel macroscópico.





**Figura 3:** Salsa elaborada con harina de arroz. (A) Arroz fina en fresco, (B) Arroz fina tras congelación, (C) Arroz intermedia en fresco, (D) Arroz intermedia tras congelación, (E) Arroz gruesa en fresco, (F) Arroz gruesa tras congelación. La barra que aparece en la parte superior izquierda de cada fotografía indica un tamaño de 100  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.2 Comportamiento reológico

- **Cinéticas de ruptura**

El modelo de estructura cinética postula que el cambio en las propiedades de flujo en función del tiempo se asocia con la cizalla que induce la ruptura de la estructura interna del fluido y el ratio de esta ruptura durante la cizalla depende de la cinética del estado estructurado y del proceso del estado no estructurado (Abu-Jdayil, 2003).

En la tabla 3 se muestran los parámetros obtenidos del modelo de estructura cinética para las salsas estudiadas. Para la constante de velocidad,  $k$ , que mide la tasa de ruptura tixotrópica, se observa un valor mayor de  $k$  para las salsas elaboradas con harina de trigo en comparación a las de arroz, indicando una mayor velocidad de desestructuración con el tiempo. Además, para ambos tipos de harina se puede apreciar que la granulometría fina es la que presenta mayor  $k$ .



La relación de la viscosidad inicial y la viscosidad en estado en equilibrio,  $\eta_0/\eta_\infty$ , puede ser considerada como una medida relativa de la cantidad de ruptura de la muestra o en otras palabras, como una medida del grado de tixotropía (Razavi & Karazhiyan, 2009). En este estudio el grado de tixotropía fue mucho mayor para las salsas de trigo que para las de arroz, siendo las que mayor tixotropía presentan la intermedia de trigo. Además, dentro de cada tipo de harina no existen diferencias significativas entre granulometrías.

Por otro lado, en la tabla se encuentran recogidos los datos de viscosidad inicial,  $\eta_0$ , para cada una de las salsas. Existe una clara diferencia entre las viscosidades iniciales de la salsa de trigo y la de arroz, siendo mucho mayor la viscosidad para el trigo, lo que coincide con la mayor viscosidad máxima encontrada en el análisis de viscosidad de las harinas y la mayor apariencia densa de las imágenes de microscopía.

**Tabla 3:** Parámetros del modelo de estructura cinética tomando una ecuación de segundo orden

	$k \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$\eta_0/\eta_\infty$	$\eta_0 \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$
<b>Trigo fina</b>	0,867 b	7,693 b	332,218 b
<b>Trigo intermedia</b>	0,547 ab	7,709 b	651,162 d
<b>Trigo gruesa</b>	0,302 a	7,174 b	516,299 c
<b>Arroz fina</b>	0,408 a	3,862 a	50,219 a
<b>Arroz intermedia</b>	0,292 a	4,195 a	67,7994 a
<b>Arroz gruesa</b>	0,349 a	4,868 a	88,328 a

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

En definitiva, las salsas elaboradas con harina de trigo tienen una mayor velocidad y grado de tixotropía y a su vez también tienen una mayor viscosidad inicial, sin grandes diferencias entre los tamaños de partícula de las harinas.

#### • Comportamiento al flujo y tixotropía

Para caracterizar los parámetros de flujo de las salsas estudiadas las curvas obtenidas se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley cuyos parámetros aparecen en la tabla 4.

Los valores de  $n$ , índice de comportamiento, se encuentran acotados entre 0,38 y 0,58, siendo en todos los casos inferiores a 1, indicando la presencia de un comportamiento No Newtoniano con tendencia a disminuir la viscosidad conforme aumenta el esfuerzo aplicado. En general, no se encuentran diferencias en el índice de comportamiento entre las granulometrías del mismo tipo de harina, a excepción del ligeramente mayor valor de  $n$  para la granulometría gruesa. Además todas las salsas presentan resistencia a fluir debido a la aparición de un esfuerzo umbral,  $\tau_0$ . Así, teniendo en cuenta estos dos

parámetros es evidente que todas las salsas muestran un comportamiento No Newtoniano de tipo Plástico Real de Casson.

El índice de consistencia,  $K$ , informa de la naturaleza viscosa del producto. Un alto valor de  $K$  indica unas características viscosas más pronunciadas, que se corresponden con una red estructural más fuerte de la muestra (Ma & Boye, 2013). Como se puede apreciar en la tabla de resultados los mayores valores de  $K$  son para la harina de trigo y los valores más bajos para la de arroz. Esto se corresponde, una vez más, con la viscosidad máxima obtenida en el análisis de viscosidad de las harinas y a su vez, con la presencia de agregados en la fase continua observada al microscopio óptico en las salsas preparadas con harina de trigo. Además, las fracciones de harina de trigo son las que mayor esfuerzo umbral tienen y por lo tanto las que mayor resistencia oponen al flujo. Respecto al tamaño de partícula también se puede observar que la granulometría más fina es la que menores esfuerzos umbrales e índices de consistencia presenta.

**Tabla 4:** Parámetros del modelo Herschel-Bulkley

	<b><math>K</math> (Pa·s)</b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>\tau_o</math> (Pa)</b>	<b>Área lóbulo histéresis (%)</b>
<b>Trigo fina</b>	16,43 b	0,380 a	61,22 d	34,46 b
<b>Trigo intermedia</b>	26,67 c	0,388 ab	121,85 f	43,19 c
<b>Trigo gruesa</b>	22,48 c	0,414 b	109,83 e	39,64 c
<b>Arroz fina</b>	4,92 a	0,578 c	16,74 a	18,85 a
<b>Arroz intermedia</b>	6,37 a	0,583 c	26,42 b	19,24 a
<b>Arroz gruesa</b>	7,96 a	0,564 c	32,74 c	21,48 a

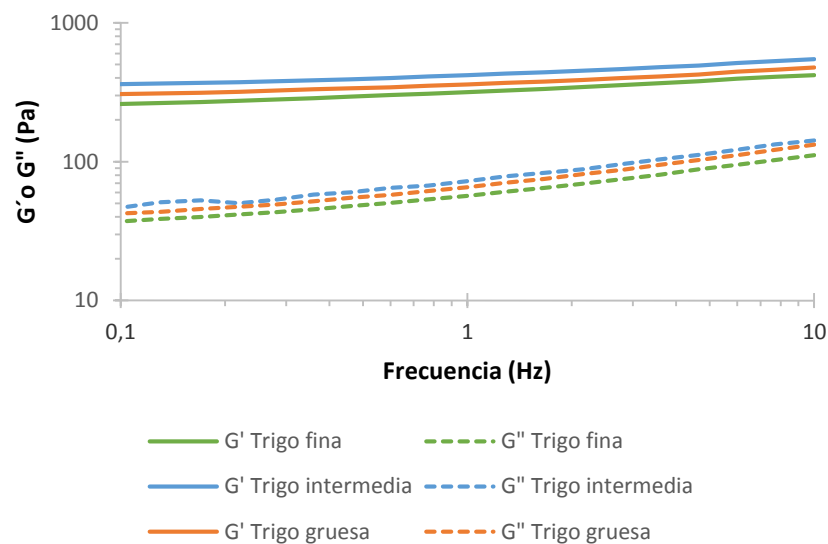
*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

En la tabla 4 se encuentra recogido el dato referente al área del lóbulo de histéresis. La medición de esta área mostró lóbulo de histéresis para todas las salsas, confirmando el comportamiento tixotrópico previamente descrito. La presencia del lóbulo de histéresis nos indica la dependencia del fluido con el tiempo y el área la medida del grado de tixotropía (Razavi & Karazhiyan, 2009). Un mayor nivel de tixotropía indica una progresiva ruptura de la estructura de los productos a medida que el tiempo de aplicación de un esfuerzo cortante se incrementa (Abu-Jdayil, 2003). Se puede apreciar que presentan un mayor grado de tixotropía las salsas elaboradas con harina de trigo, esto coincide con el mayor grado de ruptura tixotrópica obtenido para las salsas de trigo en el ensayo de cinéticas de ruptura. De hecho, el área del lóbulo de histéresis se correlaciona positivamente ( $r = 0,95$  y  $p < 0,01$ ) con el grado de tixotropía,  $\eta_o/\eta_\infty$ . Mientras que teniendo en cuenta la granulometría de las harinas, solamente se observan

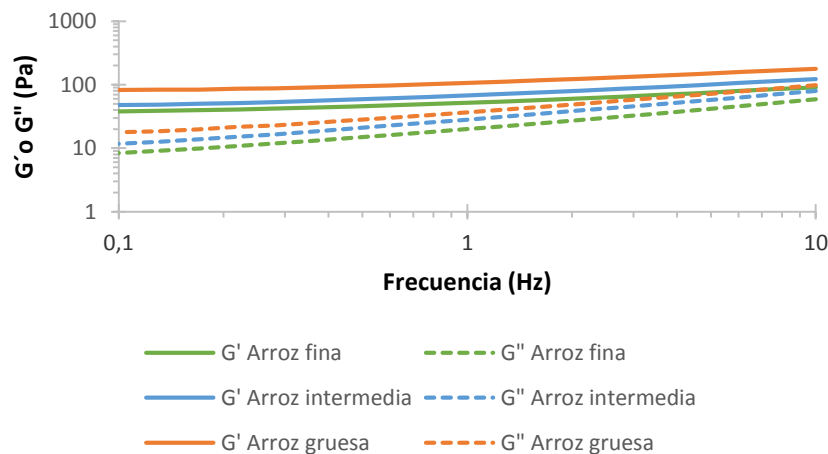
diferencias significativas entre la granulometría fina de la harina de trigo con respecto a la intermedia y gruesa, con valores ligeramente menores.

#### • Comportamiento viscoelástico

En las figuras 4a y 4b se expone el comportamiento visco-elástico de las salsas. En todos los tipos de salsas los valores de  $G'$  fueron mayores que los de  $G''$  en el rango de frecuencias estudiado, resultando ser más elásticas que viscosas. Además, en todos los casos existe una tendencia al aumento de  $G'$  y sobretodo de  $G''$  a medida que aumenta la frecuencia, indicando la dependencia de estos módulos con la frecuencia. Esta tendencia también ha sido apreciada en los estudios realizados por Arocas et al. (2009a; 2009c) en los que evaluaron las propiedades viscoelásticas de salsas blancas elaboradas con almidones nativos y modificados de diferentes familias botánicas.



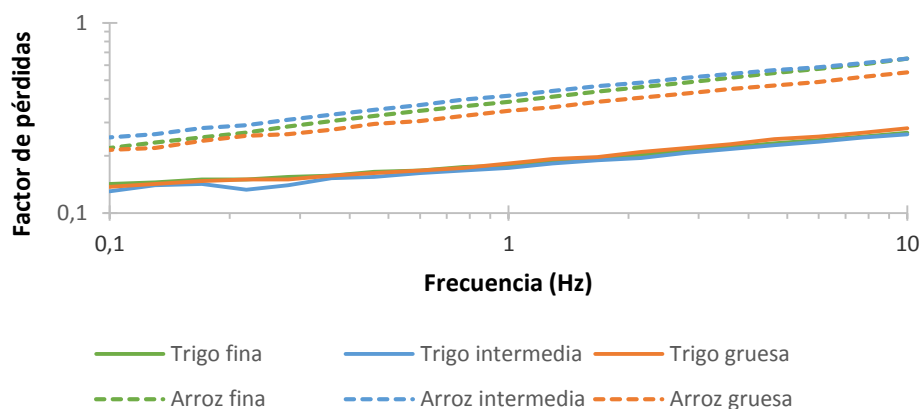
**Figura 4a:** Efecto de la frecuencia en el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdidas ( $G''$ ) de las salsas elaboradas con harina de trigo



**Figura 4b:** Efecto de la frecuencia en el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdidas ( $G''$ ) de las salsas elaboradas con harina de arroz.

Comparando los dos tipos de harinas empleadas en la elaboración de las salsas se puede apreciar que los valores de  $G'$  y  $G''$  fueron mucho menores para las salsas elaboradas con harina de arroz. Las salsas elaboradas con harina de arroz muestran un comportamiento claramente menos elástico que las de trigo, con valores de  $G'$  solamente un poco mayores que los de  $G''$ , mientras que en las de trigo se aprecia una diferencia mucho más notable entre los valores de ambos módulos. Por otro lado, en el mismo tipo de harina no existen diferencias acusadas entre granulometrías. Sin embargo, para la granulometría fina,  $G'$  y  $G''$  alcanzan los valores más bajos, sugiriendo una menor interacción entre los componentes estructurales de la salsa.

Los resultados del factor de pérdidas ( $\tan \delta$ ) que relaciona los módulos  $G'$  y  $G''$  se exponen en la Figura 5. Este factor es una medida que compara la cantidad de energía perdida frente a la cantidad de energía almacenada durante un tiempo, es decir, indica si son las propiedades elásticas o las viscosas las que predominan (Arocas et al, 2009a). Para este factor se puede apreciar que no existen grandes diferencias entre granulometrías dentro de las salsas elaboradas con el mismo tipo de harina. Por el contrario, son notables las diferencias entre los dos tipos de harinas, ya que es mucho mayor el factor de pérdidas para las salsas elaboradas con harina de arroz. En el rango de frecuencias estudiado las salsas se comportan como un sólido, siendo en todos los casos el factor de pérdidas superior a 0,1. Este comportamiento de gel débil ( $\tan \delta > 0,1$ ) coincide con el comportamiento típico observado en aderezos y mahonesas (Li et al., 2014). Sin embargo, se puede apreciar un incremento de dicho factor a medida que aumenta la frecuencia, siendo este aumento más acusado para las salsas elaboradas con harina de arroz. La mayor dependencia del factor de pérdidas con la frecuencia ha sido previamente relacionado con una menor elasticidad de los geles formados (Manoi & Rizvi, 2009) lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos para los valores de los módulos.



**Figura 5:** Efecto de la frecuencia en el factor de pérdidas ( $\tan \delta$ ) de las distintas salsas.



### 3.2.3 Propiedades de extrusión

Los valores de fuerza máxima de extrusión y área bajo la curva de extrusión para las salsas se representan en la tabla 5. Las salsas elaboradas con harina de trigo presentan mayor resistencia a la extrusión, a pesar de todo, no existen diferencias significativas entre la harina de arroz y la granulometría fina de la harina de trigo.

*Tabla 5: Parámetros de extrusión para los distintos tipos de salsas*

	Área (N·s)	F max (N)
<b>Trigo fina</b>	60,66 a	22,47 a
<b>Trigo intermedia</b>	150,77 c	43,71 b
<b>Trigo gruesa</b>	137,98 c	36,69 b
<b>Arroz fina</b>	44,62 a	21,43 a
<b>Arroz intermedia</b>	55,56 a	15,59 a
<b>Arroz gruesa</b>	84,07 b	23,39 a

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

Los altos valores de fuerza de extrusión para las harinas de trigo podrían estar relacionados con el mayor componente elástico que tienen las salsas de trigo. Por otra parte, la asociación entre los distintos componentes que constituyen la fase continua de la salsa podría ser una explicación de la mayor resistencia a la extrusión; ya que los resultados obtenidos por Arocas et al. (2009c) en sus estudios en los que evaluaban las propiedades de extrusión de las salsas tipo bechamel a diferentes temperaturas les permitieron relacionar las altas temperaturas con el decremento de la resistencia a la extrusión, lo que a su vez podría deberse a la debilitación de las fuerzas internas.

### 3.2.4 Sinéresis en fresco y tras la congelación

La sinéresis es un fenómeno de desestabilización observado en las salsas elaboradas con almidones asociada principalmente a la retrogradación de la amilosa del almidón (Quiles et al., 2012). La presencia de sinéresis en las salsas es un factor negativo asociado a la calidad sensorial de la salsa y la aceptabilidad por parte de consumidor (Arocas et al., 2009c). En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos tanto para las salsas en fresco como tras la congelación-descongelación. Ninguna de las salsas estudiadas presentó sinéresis en fresco, lo cual sugiere una alta estabilidad inicial que puede estar asociada a la alta capacidad de retención-ligazón de agua del almidón pregelatinizado presente en las harinas extrusionadas (Wolf, 2010). Sin embargo, después del proceso de congelación-descongelación, las salsas elaboradas con harina de arroz obtuvieron menor sinéresis que las de trigo. De hecho, estos resultados coinciden con los obtenidos en los estudios realizados por Arocas et al. (2009c) en la

evaluación de la sinéresis en salsas elaboradas con almidones modificados químicamente y/o pregelatinizados, ya que no observaron sinéresis en las salsas frescas pero si tras su congelación. Esto puede estar relacionado con la mayor proporción de amilosa que tiene la harina de trigo con respecto a la de arroz, lo que puede dar lugar a una mayor retrogradación tras la congelación (Quiles et al., 2012). De hecho, existe una correlación positiva entre la sinéresis tras la congelación ( $r=0,917$  y  $p<0,01$ ) y el contenido en amilosa. Quiles et al. (2012) ya encontraron que las salsas elaboradas con almidones pregelatinizados presentaban más sinéresis que las salsas elaboradas con almidones nativos o con modificaciones químicas, y esto probablemente es debido a que existe una mayor cantidad de amilosa y amilopectina en la fase continua de la salsa durante el cocinado. En los estudios realizados en salsas elaboradas con almidones reticulados y químicamente sustituidos, sin embargo, no se obtenía sinéresis tras la congelación, esto es debido a que las modificaciones ejercen un efecto protector extra contra la retrogradación evitando la salida de los polímeros de almidón del interior de los gránulos (Hernández-Carrión et al., 2015, Quiles et al., 2012, Guardado et al., 2011; 2012). Sin embargo, la adición de algún tipo de hidrocoloide a la salsa elaborada con almidones pregelatinizados podría evitar la aparición de sinéresis y prolongar la estabilidad de la salsa preparada con este tipo de almidones (Heyman et al. 2010).

**Tabla 6:** Sinéresis en fresco y tras congelación de las salsas

	% Sinéresis en fresco	% Sinéresis tras congelación
<b>Trigo fina</b>	0 a	22,55 d
<b>Trigo intermedia</b>	0 a	14,14 c
<b>Trigo gruesa</b>	0 a	19,14 d
<b>Arroz fina</b>	0 a	6,27 b
<b>Arroz intermedia</b>	0 a	2,13 a
<b>Arroz gruesa</b>	0 a	2,15 a

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p<0,05$ ).*

Además, estos resultados también pueden estar relacionados con la mayor tixotropía observada en las harinas de trigo, puesto que esta indica una mayor inestabilidad con el tiempo y una mayor dificultad en recuperar la estructura dañada después de la eliminación de la fuerza de cizalla (Laca et al., 2010); esto se corrobora con la correlación existente entre sinéresis tras congelación y grado de tixotropía,  $\eta_o/\eta_\infty$ , ( $r=0,888$  y  $p<0,05$ ) y el lóbulo de histéresis ( $r=0,819$  y  $p<0,05$ ). Inestabilidad que, en este caso, puede ser causada en el proceso de congelación-descongelación con fuerzas de cizalla afectando a la estructura de la salsa.

### 3.2.5 Color

El color de las salsas evaluadas en este estudio se debe a los ingredientes que componen dichas salsas ya que no han sido sometidas a un tratamiento culinario que pudiera influir en el color que adquieren. En la tabla 7 se pueden ver los resultados de color de las salsas para cada una de las granulometrías de las harinas empleadas.

**Tabla 7:** *Parámetros de color de las salsas*

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
<b>Trigo fina</b>	69,95 a	1,29 e	11,46 d
<b>Trigo intermedia</b>	70,78 a	0,52 d	8,90 c
<b>Trigo gruesa</b>	73,10 b	-0,41 c	9,13 c
<b>Arroz fina</b>	75,42 c	-0,77 b	5,30 b
<b>Arroz intermedia</b>	74,75 c	-0,97 a	3,88 a
<b>Arroz gruesa</b>	76,02 c	-1,10 a	3,78 a

*Los valores con letra diferente en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).*

Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) están acotados entre 69,95 y 76,02, las salsas elaboradas con harina de arroz son las que mayor valor de luminosidad presentan seguidas por las salsas elaboradas con trigo de granulometría gruesa. Las de menor valor de  $L^*$  son las granulometría fina de trigo seguidas por las intermedias. La mayor luminosidad de las salsas a base de harina de arroz puede ser debida al color más blanquecino de estas harinas en comparación a las de trigo como se puede observar en los valores obtenidos de  $L^*$  para las harinas de origen (apartado 2.1. Materiales). No hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para  $L^*$  en las salsas elaboradas con distintas granulometrías de harina de arroz sin embargo si existen diferencias entre la salsa elaborada con trigo gruesa y las granulometrías fina e intermedia. Todas las salsas elaboradas con harina de arroz tiene un valor de  $a^*$  negativo y valores de  $b^*$  bajos en comparación con las de trigo, sin embargo la salsa elaborada con harina de arroz fina muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las otras salsas de harina de arroz para  $a^*$  y  $b^*$ . Quiles et al. (2012), asociaron los valores negativos de  $a^*$  con una mayor dispersión de glóbulos de grasa y gránulos de almidón hacia la fase continua de la salsa, esto podría extrapolarse a los resultados obtenidos en este estudio, ya que la harina de partida no presenta tales valores negativos. Las salsas preparadas con harina de trigo tienen valores de  $a^*$  acotados entre 1,29 y -0,41, existiendo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las diferentes granulometrías de trigo; para los valores de  $b^*$  solo existen diferencias entre la de trigo fina y el resto de granulometrías.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la harina extrusionada puede ser utilizada para la elaboración de salsas blancas tipo bechamel en frío. En general, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos, se puede concluir que la granulometría de las harinas empleadas tiene una menor repercusión en las características de la salsa final en comparación con el tipo de harina empleada. Así, las salsas elaboradas con harina de trigo tienen un mayor grado de desestructuración y mayor grado de tixotropía con el tiempo, relacionado a su vez con una mayor viscosidad y un mayor esfuerzo umbral. Ambos tipos de salsas presentan un claro comportamiento elástico, siendo mayor para las salsas de trigo, además, las salsas de trigo son las que mayor resistencia a la extrusión manifiestan. En cuanto a la estabilidad, todas las salsas mostraron una buena estabilidad en fresco, mientras que se ha comprobado que las salsas elaboradas con harina de arroz presentan una menor sinéresis tras la congelación que las preparadas con harina de trigo. Esta sinéresis se puede minimizar empleando algún hidrocoloide que ayude en la ligazón y retención de agua. Por otro lado, en la microestructura apenas se observan diferencias entre unas salsas y otras que nos aporten información relevante, probablemente porque los cambios o interacciones entre los componentes estén asociados a nivel de macro o de microestructura que no se aprecian con la microscopia óptica. Respecto al color de las salsas, este es únicamente el resultado de las harinas empleadas, ya que debido a la ausencia de cocinado no tienen lugar reacciones de Maillard u otros fenómenos que puedan modificar el color original de las harinas y por tanto repercutir en el color final de la salsa.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Jdayil, B. (2003) Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 57, 97-102.
- AACC (2012) Approved methods of the American Association of Cereal Chemist, methods, 61-02.01 (RVA), 44-16.01 (humedad), 46-30.01 (proteína) (11th ed.) St Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemist.
- Anguita, M., Gasa, J., Martín-Orue, S. M., & Pérez, J. F. (2006) Study of the effect of technological processes on starch hydrolysis, non-starch polysaccharides solubilization and physicochemical properties of different ingredients using a two-step in vitro system. *Animal Feed Science Technology*, 129, 99-115.

- Arocas A., Sanz T., & Fiszman S.M. (2009a) Clean label starches as thickeners in white sauces. Shearing, heating and freeze/thaw stability. *Food Hydrocolloids*, 23, 2031-2037.
- Arocas A., Sanz T., & Fiszman S.M. (2009b) Improving effect of xanthan and locust bean gums on the freeze-thaw stability of white sauces made with different native starches. *Food Hydrocolloids*, 23, 2478-2484.
- Arocas A., Sanz T., & Fiszman S.M. (2009c) Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. *Food Hydrocolloids*, 23, 901-907.
- Arocas A., Sanz T., Salvador A., Varela P., & Fiszman S.M. (2010a) Sensory properties determined by starch type in white sauces: Effects of freeze/thaw and hydrocolloid addition. *Journal of Food Science*, 75, 132-140.
- Arocas, A., Sanz, T., Hernández-Carrión, M., Hernando, I., & Fiszman S.M. (2010b) Effect of cooking time and ingredients on the performance of different starches in white sauces. *European Food Research and Technology*, 231, 395-405.
- Blanchard, C., Labouré, H., Verel, A., & Champion, D. (2012) Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: Proton mobility and rheological properties assessment. *Journal of Cereal Science*, 56, 691-698
- Camire, M.E., Camire, A., & Krumhar, K. (1990) Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29, 35-57.
- Champagne, E. T., Wood, D. F., Juliano, B. O., & Bechtel, D. B. (2006) The rice grain and its gross composition. In E. T. Champagne (Ed.), *Rice chemistry and technology* (3th ed). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, EEUU. pp. 77-108
- Chiu, C., & Solarek, D. (2009) Modification of starch. En BeMiller, J., & Whistler, R. (Eds.), *Starch. Chemistry and Technology*. Academic Press, Nueva York, EEUU, pp. 629-656.
- Chung, H. J., Liu, Q., Lee, L., & Wei, D. (2011) Relationships between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose content. *Food Hydrocolloids*, 25, 968-975.
- de la Hera E., Gómez M., & Rosell C.M. (2013a) Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic. *Carbohydrate Polymers*, 98, 421- 427

- de la Hera E., Martinez M., & Gómez M. (2013b) Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT - Food Science and Technology*, 54, 199-206.
- Doublier, J.L., Colonna, P., & Mercier, C. (1986) Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, II. Rheological characterization of starch pastes. *Cereal Chemistry*, 63, 240-260.
- FAOSTAT. (2015). Database of Food and Agricultural Organization. Disponible en <http://faostat3.fao.org/>. Accedido en Julio de 2015.
- Guardado, L.M., Hernando, I., Llorca, E., Hernández-Carrión, M., & Quiles, A. (2012) Microstructural, physical, and sensory impact of starch, inulin, and soy protein in low-fat gluten and lactose free white sauces. *Journal of Food Science* 77, 859-865
- Guardado, L.M., Sanz, T., Fiszman, S.M., Quiles, A., & Hernando, I. (2011) Microwave heating effect on rheology and microstructure of white sauces. *Journal of Food Science* 76, 544-552
- Gujral, H.S. & Rosell, C.M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, 37, 75-81.
- Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006) Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46.
- Hernandez-Carrion M., Sanz, T., Hernando I., Llorca E., Fiszman S.M., & Quiles A. (2015) New formulations of functional white sauces enriched with red sweet pepper: a rheological, microstructural and sensory study. *European Food Research and Technology*, 240,1187-1202
- Heyman B., Depypere F., Delbaere C., & Dewettinck K. (2010) Effects of non-starch hydrocolloids on the physicochemical properties and stability of a commercial béchamel sauce. *Journal of Food Engineering*, 99, 115-120.
- Jacobs, H., & Delcour, J. (1998) Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2895-2905.
- Jacobson, M. R., Obanni, M., & Bemiller, J. N. (1997) Retrogradation of starches from different botanical sources. *Carbohydrates*, 74, 511-518.
- Laca, A., Sáenz, M.C., Paredes, B., & Díaz, M. (2010) Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, 97, 243-252.

- Li, J., Wang, Y., Jin, W., Zhou, B., & Li, B. (2014) Application of micronized konjac gel for fat analogue in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 35, 375-382.
- Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., & Sosulski, F. W. (1974) Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39, 368-370.
- Ma, Z., & Boye, J. I. (2013) Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 648-670.
- MAGRAMA. (2015) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/>. Accedido en Agosto 2015.
- Manoj, K., & Rizvi, S.S.H. (2009) Emulsification mechanisms and characterizations of cold, gel-like emulsions from texturized whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, 23, 1837-1847.
- Martínez, M.M., Calviño, A., Rosell, C.M., & Gómez, M. (2014) Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physicochemical properties of rice flour. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 2657-2665.
- Mason, W.R. (2009) Starch use in foods. En BeMiller, J., & Whistler, R. (Eds.), *Starch. Chemistry and Technology*. Academic Press, Nueva York. EEUU, pp. 745-795.
- Quiles, A., Llorca E., Hernández-Carrión M., & Hernando I. (2012) Effect of different cornstarch types in new formulations of gluten- and lactose-free white sauces with high protein content. *Journal of Food Quality*, 35, 341-352
- Rao, M. A., (2007). *Food Rheology and Structure*. En Barbosa-Canovas G.V. (Ed.) *Rheology of Fluid and Semisolid Foods. Principles and Applications*. Springer Science+Business Media, LLC, Nueva York. EEUU, pp. 15-40.
- Razavi S., & Karazhiyan H. (2009) Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23, 908-912
- Real Decreto 858/1984, del Boletín Oficial del Estado, de 28 de marzo, Reglamentación Técnico Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Salsas de Mesa.
- Rosell, C.M., Yokoyama, W., & Shoemaker, C. (2011) Rheology of different hydrocolloids - rice starch blends. Effect of successive heating-cooling cycles. *Carbohydrate Polymers*, 84, 373- 382.

- Sharma, P., Singh, V., & Subramanian, R. (2013). Pasting, swelling, and solubility characteristics of rice batter prepared from different wet grinding systems. *Starch-Starke* 65, 374-381.
- Torbica, A., Hadnađev, M., & Dapčević Hadnađev, T. (2012) Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, 48, 277-283.
- Toyokawa, H., Rubenthaler, G. L., Powers, J. R., & Schanus, E. G. (1989) Japanese noodle qualities. I. Flour components. *Cereal Chemistry*, 66, 382-386.
- Wen, L., Rodis, P., & Wasserman, B. (1990) Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry*, 67, 268-275.
- Wolf, B. (2010) Polysaccharide functionally through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 15, 50-54.